

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-190088
(P2001-190088A)

(43) 公開日 平成13年7月10日 (2001.7.10)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 2 P 7/00	1 0 1	H 0 2 P 7/00	1 0 1 B 5 F 0 3 1
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 3 F 7/20	5 2 1 5 F 0 4 6
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/68	K 5 H 5 4 0
21/68		H 0 2 K 41/03	A 5 H 6 4 1
H 0 2 K 41/03		H 0 1 L 21/30	5 0 3 A
審査請求 未請求 請求項の数19 O L (全 18 頁)			

(21) 出願番号 特願平11-373507

(22) 出願日 平成11年12月28日 (1999. 12. 28)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 戸津 政治

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100072718

弁理士 古谷 史旺 (外1名)

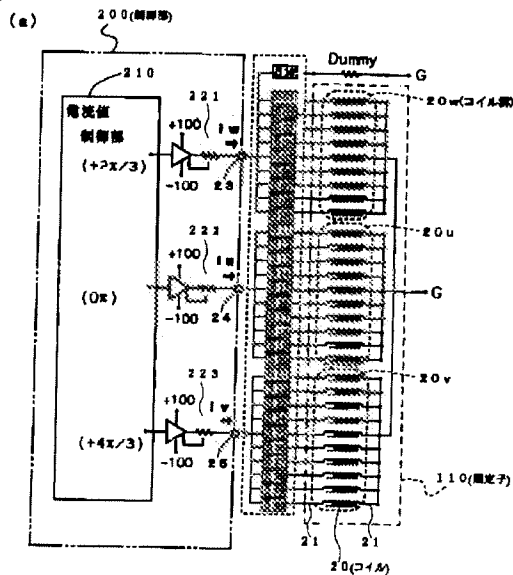
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モータ装置、ステージ装置、露光装置、デバイス、モータの駆動方法、ステージ装置の駆動方法、露光方法、および、デバイスの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高出力化と小型化との双方を実現しつつ、駆動力リップルの低減をも図ることができるモータ装置、これを備えたステージ装置、露光装置、デバイス、モータの駆動方法、ステージ装置の駆動方法、露光方法、および、デバイスの製造方法を提供する。

【解決手段】 周期的な磁束密度分布を形成する磁石ユニットと、複数のコイル20を有するコイルユニットと、各コイル20に交流電流を供給する供給手段200とを備え、交流電流の供給により磁石ユニットとコイルユニットとが相対移動するモータ装置であって、供給手段200から各コイル20に対し、磁束密度分布に応じた高調波成分が基本正弦波成分に重畳された交流電流を供給する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 周期的な磁束密度分布を形成する磁石ユニットと、複数のコイルを有するコイルユニットと、該コイルユニットの各コイルに交流電流を供給する供給手段とを備え、前記交流電流の供給により前記磁石ユニットと前記コイルユニットとが相対移動するモータ装置であって、

前記供給手段は、前記磁束密度分布に応じた高調波成分が基本正弦波成分に重畳された交流電流を供給するものであることを特徴とするモータ装置。

【請求項2】 請求項1に記載のモータ装置において、前記磁石ユニットは、少なくとも、基本正弦波成分と、該基本正弦波成分の周期の $1/n$ を1周期とする n 次正弦波成分（ n は1より大きく3の倍数を除く奇数）とが、所定の位相関係で重畳された磁束密度分布を形成するものであり、

前記供給手段は、少なくとも、基本正弦波成分と、該基本正弦波成分の周期の $1/n$ を1周期とする n 次正弦波成分とが、前記所定の位相関係とは逆の位相関係で重畳された交流電流を供給するものであることを特徴とするモータ装置。

【請求項3】 請求項2に記載のモータ装置において、前記交流電流の前記 n 次正弦波成分の振幅 $\alpha[n]$ は、前記交流電流の前記基本正弦波成分の振幅を $\alpha[1]$ 、前記磁束密度分布の前記基本正弦波成分の振幅を $\beta[1]$ 、前記磁束密度分布の前記 n 次正弦波成分の振幅を $\beta[n]$ とすると、

$$\alpha[n] = -(\beta[n]/\beta[1]) \times \alpha[1]$$

の関係満足することを特徴とするモータ装置。

【請求項4】 請求項2または請求項3に記載のモータ装置において、

前記交流電流の前記 n 次正弦波成分は、該交流電流の前記基本正弦波成分の周期の $1/5$ を1周期とする5次正弦波成分であることを特徴とするモータ装置。

【請求項5】 請求項1に記載のモータ装置において、前記磁石ユニットは、少なくとも、基本正弦波成分に、該基本正弦波成分の周期の $1/5$ を1周期とする5次正弦波成分が同位相で重畳され、かつ、前記基本正弦波成分の周期の $1/3$ を1周期とする3次正弦波成分が逆位相で重畳された磁束密度分布を形成するものであり、前記供給手段は、少なくとも、基本正弦波成分に、該基本正弦波成分の周期の $1/3$ を1周期とする3次正弦波成分が同位相で重畳された交流電流を供給するものであることを特徴とするモータ装置。

【請求項6】 請求項1から請求項5の何れか1項に記載のモータ装置において、

前記複数のコイルは、少なくとも2つのコイル群に分けられ、かつ、前記磁束密度分布と同じ周期で前記相対移動の方向に沿って周期的に配列され、

前記供給手段は、前記複数のコイルの各コイル群に応じ

て2以上の相の前記交流電流を供給することを特徴とするモータ装置。

【請求項7】 請求項1から請求項6の何れか1項に記載のモータ装置において、

前記磁石ユニットは、前記相対移動の方向に沿って配列された複数の磁石を有し、

前記磁石ユニットの各磁石は、隣り合う磁石と同種の磁極どうしが対向する向きで配列されていることを特徴とするモータ装置。

【請求項8】 請求項1から請求項7の何れか1項に記載のモータ装置が、ステージ部の駆動手段として用いられていることを特徴とするステージ装置。

【請求項9】 露光用の照明光を用いて基板上に所定のパターンを形成する露光装置であって、

前記照明光を射出する照明系と、

前記照明光の経路上に配置される物体を搭載する請求項8に記載のステージ装置とを備えたことを特徴とする露光装置。

【請求項10】 請求項9に記載の露光装置によって製造されたことを特徴とするデバイス。

【請求項11】 周期的な磁束密度分布を形成する磁石ユニットと複数のコイルを有するコイルユニットとを備えたモータの駆動方法であって、

前記コイルユニットの各コイルに対し、前記磁束密度分布に応じた高調波成分が基本正弦波成分に重畳された交流電流を供給することを特徴とするモータの駆動方法。

【請求項12】 請求項11に記載のモータの駆動方法において、

前記磁石ユニットは、少なくとも、基本正弦波成分と、該基本正弦波成分の周期の $1/n$ を1周期とする n 次正弦波成分（ n は1より大きく3の倍数を除く奇数）とが、同位相で重畳された磁束密度分布を形成するものであり、

前記コイルユニットの各コイルに対し、少なくとも、基本正弦波成分と、該基本正弦波成分の周期の $1/n$ を1周期とする n 次正弦波成分とが、逆位相で重畳された交流電流を供給することを特徴とするモータの駆動方法。

【請求項13】 請求項12に記載のモータの駆動方法において、

前記交流電流の前記 n 次正弦波成分の振幅 $\alpha[n]$ は、前記交流電流の前記基本正弦波成分の振幅を $\alpha[1]$ 、前記磁束密度分布の前記基本正弦波成分の振幅を $\beta[1]$ 、前記磁束密度分布の前記 n 次正弦波成分の振幅を $\beta[n]$ とすると、

$$\alpha[n] = -(\beta[n]/\beta[1]) \times \alpha[1]$$

の関係を満足することを特徴とするモータの駆動方法。

【請求項14】 請求項12または請求項13に記載のモータの駆動方法において、

前記交流電流の前記 n 次正弦波成分は、該交流電流の前記基本正弦波成分の周期の $1/5$ を1周期とする5次正

弦波成分であることを特徴とするモータの駆動方法。

【請求項15】 請求項11から請求項14の何れか1項に記載のモータの駆動方法において、前記複数のコイルは、少なくとも2つのコイル群に分けられ、かつ、前記磁束密度分布と同じ周期で前記相対移動の方向に沿って周期的に配列され、前記コイルユニットの各コイルに対し、前記複数のコイルの各コイル群に応じて2以上の相の前記交流電流を供給することを特徴とするモータの駆動方法。

【請求項16】 請求項11から請求項15の何れか1項に記載のモータの駆動方法において、前記磁石ユニットは、前記相対移動の方向に沿って配列された複数の磁石を有し、前記磁石ユニットの各磁石は、隣り合う磁石と同種の磁極どうしが対向する向きで配列されていることを特徴とするモータの駆動方法。

【請求項17】 ステージ部の駆動手段としてモータを有するステージ装置の駆動方法において、請求項11から請求項16の何れか1項に記載のモータの駆動方法を用いて前記モータを駆動することを特徴とするステージ装置の駆動方法。

【請求項18】 露光用の照明光を射出する工程と、物体を搭載したステージ装置を駆動して前記物体を前記照明光の経路に対して相対移動させる工程と、を備えた露光方法であって、前記ステージ装置を駆動する際に、請求項17に記載のステージ装置の駆動方法を用いることを特徴とする露光方法。

【請求項19】 請求項18に記載の露光方法によって露光を行う工程を有することを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、モータ装置、ステージ装置、露光装置、デバイス、モータの駆動方法、ステージ装置の駆動方法、露光方法、および、デバイスの製造方法に関し、特に、交流式のモータを備えたモータ装置、およびステージ装置などに関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、交流式のモータは、コイルユニットの各コイルに対し交流電流を供給することによ

$$B1(X) = \beta \{1\} \sin((2\pi/\lambda)X) + \beta \{3\} \sin 3((2\pi/\lambda)X) \quad \cdots (2)$$

上記の磁石ユニット11を備えたりニアモータでは、一般に、コイルユニットの各コイルに対して、図20に示す基本正弦波成分（周期 λ ，振幅 $\alpha \{1\}$ ）のみの三相交流電流 $I1u(x)$ ， $I1v(x)$ ， $I1w(x)$ が供給される。なお、各交流電流 $I1u(x)$ ， $I1v(x)$ ， $I1w(x)$ は、次式(3)～(5)で表される（ただし、 $\omega = 2\pi/\lambda$ ， $\phi = 2\pi/3$ ， $\psi = 4\pi/3$ ）。

$$F1(x) = L(B1u(x) I1u(x) + B1v(x) I1v(x) + B1w(x) I1w(x))$$

て、コイルユニットと磁石ユニットとを回転方向または直線方向に相対移動させ、駆動力を発生するものとしてよく知られている。このうち、直線方向の駆動力（推力）を発生するモータ（リニアモータ）は、構造が簡易で部品点数が少なく、また、駆動における摩擦抵抗が少ないために動作精度が高く、さらに、直接的に直線駆動するので移動動作を迅速に行うことができるという多くの利点を有している。

【0003】このため、精密な位置決めを必要とする分野の直線駆動を行う駆動機構においては、リニアモータが主流となりつつある。例えば、半導体装置や液晶表示装置あるいは薄膜磁気ヘッドなどを製造するためのフォトリソグラフィ工程で用いられる露光装置において、リニアモータは、レチクルやウエハなどを載置して所定の位置に位置決めするステージ装置の駆動機構として利用される。

【0004】さて、上記のリニアモータでは、コイルユニットを構成する多数のコイルと、磁石ユニットを構成する多数の磁石（例えば永久磁石）とが、一定の方向に配列されている。なお、磁石ユニットは、磁石の配列方向に沿って周期的な磁束密度分布の磁場を形成する。コイルユニットの各コイルに対し交流電流を供給すると、コイルを流れる電流と磁石ユニットによる磁場とが作用し合う結果、上記配列方向の推力が発生し、コイルユニットと磁石ユニットとが相対移動する。ちなみに、上記配列方向の推力 F は、次式(1)で表される。ただし、 L は磁場の中を横切るコイルの長さ、 B は磁束密度、 I はコイルを流れる電流値である。

$$【0005】 F = L \times B \times I \quad \cdots (1)$$

ここで、周知のリニアモータの構成例と推力 F について具体的に説明する。このリニアモータの磁石ユニット11は、図19(a)に示すように、複数の永久磁石11a，11a…が異極どうし対向する向きで配列されたものである。また、磁石ユニット11は、図19(b)に示すように、周期的な磁束密度分布 $B1(X)$ を形成する（周期 λ ）。

【0006】磁束密度分布 $B1(X)$ は、厳密には、次式(2)で表されるように、基本正弦波成分（周期 λ ，振幅 $\beta \{1\}$ ）と、3次正弦波成分（周期 $\lambda/3$ ，振幅 $\beta \{3\}$ ）とを重畳したものである（()内の数字は正弦波成分の次数を表す）。

$$【0007】 I1u(x) = \alpha \{1\} \sin(\omega x) \quad \cdots (3)$$

$$I1w(x) = \alpha \{1\} \sin(\omega x + \phi) \quad \cdots (4)$$

$$I1v(x) = \alpha \{1\} \sin(\omega x + \psi) \quad \cdots (5)$$

この場合、リニアモータに発生する推力 $F1(x)$ は、次式(6)に示されるように、位置によって変動しない一定値となる。

【0008】

$$\begin{aligned}
&= L \alpha [1] \{ (\beta [1] \sin(\omega x) + \beta [3] \sin 3(\omega x)) \sin(\omega x) \\
&\quad + (\beta [1] \sin(\omega x + \phi) + \beta [3] \sin 3(\omega x + \phi)) \sin(\omega x + \phi) \\
&\quad + (\beta [1] \sin(\omega x + \psi) + \beta [3] \sin 3(\omega x + \psi)) \sin(\omega x + \psi) \} \\
&= 1.5 L \alpha [1] \beta [1] \cdots (6)
\end{aligned}$$

【0009】

【発明が解決しようとする課題】ところで、近年、リニアモータの高出力化と小型化とを共に実現することが要求され、図21(a)に示す磁石ユニット12が提案された(例えば特開平10-313566公報)。この磁石ユニット12は、複数の永久磁石12a、12a…が、同極どうし対向する向きで配列されたものである。

$$B2(X) = \beta [1] \sin((2\pi/\lambda)X) + \beta [3] \sin 3((2\pi/\lambda)X)$$

$$+ \beta [5] \sin 5((2\pi/\lambda)X) \cdots (7)$$

この磁石ユニット12を備えたりニアモータでは、上記のように、高出力化と小型化との双方を実現可能であるが、従来の磁石ユニット11と同様に、基本正弦波成分(周期 λ 、振幅 $\alpha[1]$)のみの三相交流電流(図20参照)をコイルユニットの各コイルに対し供給すると、推力Fが位置によって変動するという問題があった。以下、推力Fの位置による変動分を「推力リップル」と呼ぶ。

【0011】リニアモータの推力Fに推力リップルが含まれていると、精密な位置決め制御が困難となる。したがって、小型で高出力なリニアモータであっても、それを精密な位置決め装置の駆動機構として用いることはできなかった。なお、上述した問題は、回転方向の駆動力(トルク)を発生するモータ(回転モータ)にも同様に発生する。この場合、磁石ユニットによる磁場と各コイルに流れる電流との相互作用によって発生するトルクが回転角によって変動してしまう(トルクリップル)。以下、回転モータにおけるトルクリップルとリニアモータにおける推力リップルとを総じて「駆動力リップル」と呼ぶことにする。

【0012】本発明の目的は、高出力化と小型化との双方を実現しつつ、駆動力リップルの低減をも図ることができるモータ装置、これを備えたステージ装置、露光装置、デバイス、モータの駆動方法、ステージ装置の駆動方法、露光方法、および、デバイスの製造方法を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明のモータ装置は、周期的な磁束密度分布を形成する磁石ユニットと、複数のコイルを有するコイルユニットと、該コイルユニットの各コイルに交流電流を供給する供給手段とを備え、交流電流の供給により磁石ユニットとコイルユニットとが相対移動するモータ装置であって、供給手段からコイルユニットの各コイルに対し、磁束密度分布に応じた高調波成分が基本正弦波成分に重畳された交流電流を供給するように構成したものである。このモータ装置によれば、高出力化と小型化との双方を実現しつつ、駆動力リ

【0010】磁石ユニット12によって形成される磁束密度分布 $B2(X)$ は、図21(b)に示されるように周期的であり(周期 λ)、次式(7)で表されるように、基本正弦波成分(周期 λ 、振幅 $\beta[1]$)に、3次正弦波成分(周期 $\lambda/3$ 、振幅 $\beta[3]$)と、5次正弦波成分(周期 $\lambda/5$ 、振幅 $\beta[5]$)とが重畳されている。

ップルを低減することができる。

【0014】また、上記のモータ装置において、磁石ユニットが、少なくとも基本正弦波成分とn次正弦波成分とを所定の位相関係で重畳した磁束密度分布を形成し、供給手段が、少なくとも基本正弦波成分とn次正弦波成分とを前記所定の位相関係とは逆の位相関係で重畳した交流電流を供給する場合(ただし、n次正弦波成分の周期は基本正弦波成分の周期の $1/n$ であり、nは1より大きく3の倍数を除く奇数である)、高出力化と小型化との双方を実現しつつ、駆動力リップルを確実に低減することができる。これは、交流電流のn次正弦波成分(高調波成分)と磁石ユニットの磁場との相互作用によって、基本正弦波成分のみの交流電流を供給したときに発生する駆動力リップルを打ち消す逆方向の駆動力リップルを発生させることができるからである。

【0015】さらに、上記のモータ装置において、交流電流のn次正弦波成分の振幅 $\alpha[n]$ が、 $\alpha[n] = -(\beta[n]/\beta[1]) \times \alpha[1]$ の関係を満足する場合(ただし、交流電流の基本正弦波成分の振幅 $\alpha[1]$ 、磁束密度分布の基本正弦波成分の振幅 $\beta[1]$ 、磁束密度分布のn次正弦波成分の振幅 $\beta[n]$ とする)、駆動力リップルを完全に打ち消して零にすることができる。

【0016】また、上記のモータ装置において、交流電流のn次正弦波成分として5次正弦波成分(周期は交流電流の基本正弦波成分の周期の $1/5$)を用いる場合、駆動力リップルの低減または完全な打ち消しを効率よく行うことができる。さらに、上記のモータ装置において、磁石ユニットが、少なくとも基本正弦波成分に5次正弦波成分を同位相でかつ3次正弦波成分を逆位相で重畳した磁束密度分布を形成し、供給手段が、少なくとも基本正弦波成分に3次正弦波成分を同位相で重畳した交流電流を供給する場合、高出力化と小型化との双方を実現しつつ、駆動力リップルを確実に低減することができる。これは、交流電流の3次正弦波成分(高調波成分)と磁石ユニットの磁場との相互作用によって、基本正弦波成分のみの交流電流を供給したときに発生する駆動力リップルを打ち消す逆方向の駆動力リップルを発生させ

ることができるからである。

【0017】さらに、上記のモータ装置をステージ部の駆動手段として用いたステージ装置では、ステージ部に対する精密な位置決め制御が可能となり、ステージ装置全体として高機能化が図られる。また、露光用の照明光を用いて基板上に所定のパターンを形成する露光装置において、照明光の経路上に配置される物体を搭載するステージ装置に上記のステージ装置を用いた場合、ステージ部に対する精密な位置決め制御が可能となるため、露光装置全体として高機能化が図られる。

【0018】さらに、上記の露光装置を用いることにより、高精度なデバイスを効率よく製造することができる。

【0019】

【発明の実施の形態】（第1の実施の形態）以下、本発明の第1の実施の形態について、図1～図13を参照して説明する。

【0020】第1の実施の形態のリニアモータ100は、図1に示すように、円筒状の可動子120と、可動子120の中空部分に所定の間隙Mを隔てて挿通された円柱状の固定子110とで構成される。固定子110は支持部101、101によってステージ装置（不図示）側に固定され、可動子120は固定子110に沿ってX方向に移動可能である。また、可動子120は、その外周がハウジング部108に覆われており、このハウジング部108に可動ステージ109が固定されている。なお、この実施の形態では、リニアモータ100と、後述の制御部200およびスイッチ（S01～S30）とによってリニアモータ装置が構成される。

【0021】まず初めに、リニアモータ100の可動子120について内部構成を説明する。可動子120は、図2、図3に示すように、環状の永久磁石121、121…が同軸に複数（図示例では3個）配列され、その周囲が筒状ヨーク122で囲まれたものである。筒状ヨーク122は、強磁性体である低炭素鋼（例えば、SS400）によって構成されている。このため、筒状ヨーク122内部に収容された各永久磁石121は、筒状ヨーク122の内側面に吸着し、筒状ヨーク122内部に隙間なく同軸に、かつ精度よく配置される。

【0022】また、複数の永久磁石121、121…（磁石ユニット）は、図3に示すように、隣り合う永久磁石121と同種の磁極どうしが接する向きで配列されている。このため、可動子120の中空部分には、図4に示すように、隣り合う2つの永久磁石121、121の接合部でピーク値を示すと共に周期的な磁束密度分布 $B_2(X)$ の磁場が、複数の永久磁石121、121…によって形成される。

【0023】ちなみに、複数の永久磁石121、121…による磁束密度分布 $B_2(X)$ の詳細は、図5に示すように、基本正弦波成分（周期 λ 、振幅 $\beta[1]$ ）と、3次

正弦波成分（周期 $\lambda/3$ 、振幅 $\beta[3]$ ）と、5次正弦波成分（周期 $\lambda/5$ 、振幅 $\beta[5]$ ）とを重畳したものであり、上述した式(7)で表される。なお、基本正弦波成分と3次正弦波成分とは逆位相であり、基本正弦波成分と5次正弦波成分とは同位相である。

【0024】次に、リニアモータ100を構成する固定子110の内部構造について説明する。固定子110は、図2、図3に示すように、芯部材111と、これに巻き付けられた複数のコイル20、20…（コイルユニット）と、これらを外側から覆うパイプ113とによって構成されている。なお、コイル20、20…とパイプ113との間、および芯部材111の軸芯には各々、冷却液用流路114、115が形成されている。

【0025】芯部材111は、図2に示すように、略扇形断面の棒状部材111A、111A…が複数本（図示例では8本）、その要部分111C、111C…を内周側に向けて互いに結合されたものである。各棒状部材111Aは、積層ケイ素鋼板（強磁性体）にて構成されている。複数のコイル20、20…は、図3に示すように、上記した可動子120の永久磁石121、121…の配置に応じて配置されている。具体的には、各永久磁石121のX方向に沿った長さL当たり、3個のコイル20、20…が配置される。各永久磁石121の長さLは、磁束密度分布 $B_2(X)$ の半周期に一致している（図4）。

【0026】また、各コイル20は、図6(a)に示すように、一对の引出線21、21の一方がGND端子(G)に接続され、他方がスイッチ（S01～S30）を介して制御部200（詳細は後述する）の電流出力端子23、24、25の何れかに接続されている。ここで、制御部200の電流出力端子23に接続されたコイル20、20…（総じて「コイル群20w」という）は、複数のコイル20、20…（図6(b)）のうち、X方向に沿って2個おきに配置されたコイル20、20…（図中、符号“W”を付したもの）である。ただし、コイル群20wの各コイル20のGND端子または電流出力端子23への接続方向は、図7(a)に示すように、1つおきに逆の極性となっている。

【0027】また、制御部200の電流出力端子24（図6(a)）に接続されたコイル20、20…（総じて「コイル群20u」という）は、上記したコイル群20wの各コイル20の一方に隣り合うコイル20、20…（図6(b)で符号“U”を付したもの）である。ただし、コイル群20uの各コイル20のGND端子または電流出力端子24への接続方向も、図7(b)に示すように、1つおきに逆の極性となっている。

【0028】さらに、制御部200の電流出力端子25に接続されたコイル20、20…（総じて「コイル群20v」という）は、上記したコイル群20uの各コイル20の一方に隣り合うコイル20、20…（図6(b)で

符号“V”を付したものである。コイル群20vの各コイル20のGND端子または電流出力端子25への接続方向も、図7(c)に示すように、1つおきに逆の極性となっている。

【0029】ちなみに、各コイル群20v, 20u, 20wにおいて、接続方向が逆の極性となっているコイル20, 20…どうしには、常に、逆位相の電流が供給されることになる。なお、各コイル20の引出線21, 21は、図2に示すように、コイル20, 20…の内側と芯部材111との間に配設されている。

【0030】上記のように構成されたリニアモータ100では、固定子110のコイル20, 20…に対し後述する交流電流を供給すると、この電流と可動子120の永久磁石121, 121…による磁場とが作用し合い、コイル20, 20…に推力が発生する。ただし、リニアモータ100のコイル20, 20…は固定されているため、可動子120が固定子110に沿ってX方向に移動する。移動方向は推力とは逆の方向である。

【0031】次に、上記の電流出力端子23～25を備えた制御部200の構成、および、スイッチ(S01～S30)について説明する。制御部200(供給手段)は、図6(a)に示すように、電流値制御部210と、3つのアンプ部221, 222, 223とによって構成されている。電流値制御部210は、所望の波形(後述する)に整形された三相(U相, W相, V相)の交流電流を生成するものである(例えばデジタル・シグナル・プロセッサ)。三相(U相, W相, V相)の交流電流は、位相が $2\pi/3$ ずつずれている(図20参照)。

【0032】アンプ部221, 222, 223は、電流値制御部210の3つの端子に現れた電圧値に応じて交流電流Iw, Iu, Ivを発生するものである。また、アンプ部221, 222, 223は各々、電流出力端子23, 24, 25に接続されている。上記制御部200で発生した交流電流Iw, Iu, Ivは、電流出力端子23, 24, 25各々から出力され、スイッチ(S01～S30)を介してコイル群20w, 20u, 20vの各コイル20側に供給される。

【0033】ここで、スイッチ(S01～S30)は、制御部200の電流出力端子23, 24, 25から出力される交流電流Iw, Iu, Ivをコイル20に対し実際に供給するか否かを切り替えるためのものである。固定子110のコイル20, 20…は上記した可動子120の移動範囲全体にわたって配置されているが(図1参照)、可動子120の移動に実際に寄与するコイル20, 20…は、永久磁石121, 121…(図3)に対向しているコイル20, 20…や、その前後数個分のコイル20, 20…のみである。

【0034】このため、全てのコイル20, 20…に通電すると、可動子120の移動に寄与しない部分のコイル20, 20…に供給された電流が無駄になり効率が悪

く、また、コイル20の発熱量が増え、この発熱による空気のゆらぎが大きくなってしまう。そこで、本実施の形態のリニアモータ100では、スイッチ(S01～S30)を設け、可動子120の移動に寄与する部分のコイル20のみが通電されるように、可動子120の移動位置に応じて通電するコイル20を選択できるように構成している。なお、各コイル群20v, 20u, 20wにおいて通電されるコイル20の数は、同じであることが好ましい。また、通電するコイル20の選択は、制御装置(図示省略)により、可動子120の目標位置及びコイル20と永久磁石121の空間的位置関係に基づいて制御される。

【0035】このように、各スイッチ(S01～S30)が個別にオン／オフ制御され、可動子120の移動に寄与するコイル20が選択的に通電されるため、消費電力が少なく、発熱量の少ないリニアモータ100の動作制御が行われる。ここで、永久磁石121, 121…(図3)に対向するコイル20, 20…のうち、実際に交流電流Ivが供給されたコイル群20vのコイル20, 20…には各々、図8に示すように、推力Fvが発生する。なお、コイル群20vにおいて、各コイル20が受ける磁場の方向は1つおきに逆であり、かつ、各コイル20に供給される電流の方向も逆であるため、各コイル20に発生する推力Fvの方向は同じとなる。

【0036】同様に、永久磁石121, 121…に対向するコイル20, 20…のうち、実際に交流電流Iu, Iwが供給されたコイル群20u, 20wのコイル20, 20…には各々、図8に示すように、推力Fu, Fwが発生する。なお、各推力Fu, Fv, Fwの大きさは、各コイル20に流れる電流の大きさと、各コイル20の場所での磁束密度とに応じて決まる。

【0037】そして、複数のコイル20, 20…を備えた固定子110には、各コイル20に発生する推力Fu, Fv, Fwを合計した推力Fが作用することになる。したがって、上記したリニアモータ100では、可動子120が、合計の推力Fを受けてX方向に移動する。次に、制御部200の電流出力端子23, 24, 25から出力される交流電流Iw, Iu, Ivの波形について具体的に説明する。

【0038】第1の実施の形態のリニアモータ100においては、可動子120の永久磁石121, 121…が図3に示す向きで配列されているため、固定子110のコイル20, 20…に対して基本正弦波成分のみの三相交流電流(図20参照)を供給すると、推力リップルが生じてしまう。そこで、本実施の形態では、固定子110のコイル20, 20…に供給する交流電流Iv, Iu, Iwの波形を制御することにより、上記の推力リップルの発生を抑えるようにした。

【0039】ここでまず、各コイル20に対して基本正弦波成分(周期入, 振幅 α [1])のみの三相交流電流

(図20)を供給したときの推力 $F_2(x)$ を求め、推力リップルについて調べておく。この場合の推力 $F_2(x)$ は、各コイル20の場所における磁束密度分布 $B_2(X)$ の変化を表す次式(8)~(10)と、基本正弦波成分のみの三相交流電流を表す上記式(3)~(5)とを用い、次式(11)で求められる(ただし、 $\omega = 2\pi/\lambda$, $\phi = 2\pi/$

$$B_{2u}(x) = \beta[1]\sin(\omega x) + \beta[3]\sin 3(\omega x) + \beta[5]\sin 5(\omega x) \quad \dots(8)$$

$$B_{2w}(x) = \beta[1]\sin(\omega x + \phi) + \beta[3]\sin 3(\omega x + \phi) + \beta[5]\sin 5(\omega x + \phi) \quad \dots(9)$$

$$B_{2v}(x) = \beta[1]\sin(\omega x + \psi) + \beta[3]\sin 3(\omega x + \psi) + \beta[5]\sin 5(\omega x + \psi) \quad \dots(10)$$

$$F_2(x) = L(B_{2u}(x)I_{1u}(x) + B_{2v}(x)I_{1v}(x) + B_{2w}(x)I_{1w}(x)) \\ = 1.5L\alpha[1]\beta[1]\{1 - (\beta[5]/\beta[1])\cos 6(\omega x)\} \quad \dots(11)$$

上記の式(11)から分かるように、推力 $F_2(x)$ には、6次正弦波成分(周期 $\lambda/6$)の推力リップルが含まれている(図9参照)。

【0041】ここで、式(11)の推力リップルの振幅($1.5L\alpha[1]\beta[5]$)には、磁束密度分布 $B_2(X)$ の5次正弦波成分の振幅 $\beta[5]$ が含まれていることが分かる。また、推力リップルの振幅には磁束密度分布 $B_2(X)$ の3次正弦波成分の振幅 $\beta[3]$ が含まれない。式(11)の推力リップルは、磁束密度分布 $B_2(X)$ の5次正弦波成分と、交流電流の基本正弦波成分とが、合成され

$$I_{2u}(x) = \alpha[1]\sin(\omega x) + \alpha[5]\sin 5(\omega x) \quad \dots(12)$$

$$I_{2w}(x) = \alpha[1]\sin(\omega x + \phi) + \alpha[5]\sin 5(\omega x + \phi) \quad \dots(13)$$

$$I_{2v}(x) = \alpha[1]\sin(\omega x + \psi) + \alpha[5]\sin 5(\omega x + \psi) \quad \dots(14)$$

このように基本正弦波成分と5次正弦波成分とが重畳された交流電流 $I_{2u}(x)$, $I_{2v}(x)$, $I_{2w}(x)$ を各コイル20に対して供給することを想定し、その場合の推力 $F_3(x)$ を求めると、次式(15)のようになる。なお図

$$F_3(x) = L(B_{2u}(x)I_{2u}(x) + B_{2v}(x)I_{2v}(x) + B_{2w}(x)I_{2w}(x)) \\ = 1.5L\alpha[1]\beta[1]\{1 + (\beta[5]\alpha[5])/(\alpha[1]\beta[1]) \\ - (\beta[5]/\beta[1])\cos 6(\omega x) - (\alpha[5]/\alpha[1])\cos 6(\omega x)\} \quad \dots(15)$$

上記の式(15)から分かるように、推力 $F_3(x)$ には、式(11)の推力リップル(式(15)では第3項)に加えて、同様に6次正弦波成分(周期 $\lambda/6$)の推力リップル(第4項)が新たに含まれている。この新たな推力リップルは、磁束密度分布 $B_2(X)$ の基本正弦波成分と、交流電流 $I_2(X)$ の5次正弦波成分と、の合成により発生するものである。

【0045】したがって、新たな推力リップルの振幅($1.5L\beta[1]\alpha[5]$)を式(11)の推力リップルの振幅($1.5L\alpha[1]\beta[5]$)と同じ大きさにすると共に、新たな推力リップルの位相を式(11)の推力リップルと逆位相にすることにより、新たな推力リップルと式(11)の推力リップルとを相殺させることができる。このときの条件は、次式(16)で表される。

$$\beta[1]\alpha[5] = -\alpha[1]\beta[5] \quad \dots(16)$$

$$F_4(x) = 1.5L\alpha[1]\beta[1](1 - \beta[5]^2/\beta[1]^2) \quad \dots(18)$$

さて、上記のような交流電流 $I_{2u}(x)$, $I_{2v}(x)$, $I_{2w}(x)$ の波形の制御は、図6(a)に示す制御部200の電流値制御部210において行われる。

3, $\psi = 4\pi/3$ である)。なお図9には、一例として、コイル群20uのコイル20への交流電流 $I_{1u}(x)$ と、このコイル20の場所における磁束密度の時間変化 $B_{2u}(x)$ とが示されている。

【0040】

て発生したものである。

【0042】本実施の形態では、式(11)の推力リップルを打ち消すため、各コイル20に供給する交流電流 I_v , I_u , I_w の波形を制御し、基本正弦波成分(周期 λ , 振幅 $\alpha[1]$)に5次正弦波成分(周期 $\lambda/5$, 振幅 $\alpha[5]$)を重畳することにした(図10)。この場合の交流電流 $I_{2u}(x)$, $I_{2w}(x)$, $I_{2v}(x)$ は、次式(12)~(14)で表される(ただし、 $\omega = 2\pi/\lambda$, $\phi = 2\pi/3$, $\psi = 4\pi/3$)。

【0043】

11には、一例として、コイル群20uのコイル20への交流電流 $I_{2u}(x)$ と、このコイル20の場所における磁束密度の変化 $B_{2u}(x)$ とが示されている。

【0044】

これはすなわち、上記式(12)~(14)で表される交流電流 $I_{2u}(x)$, $I_{2w}(x)$, $I_{2v}(x)$ の基本正弦波成分に重畳された5次正弦波成分の振幅 $\alpha[5]$ に関する条件に他ならない。以上のことから、交流電流 $I_{2u}(x)$, $I_{2v}(x)$, $I_{2w}(x)$ の5次正弦波成分の振幅 $\alpha[5]$ が次式(17)を満足するとき、式(15)の推力リップルが完全に相殺され、推力 $F_3(x)$ が一定の値になることが分かる。

【0047】

$$\alpha[5] = -(\beta[5]/\beta[1])\alpha[1] \quad \dots(17)$$

また、このときの推力 $F_3(x)$ の値は、上記した推力 $F_3(x)$ の式(15)に条件式(17)を代入することにより、次式(18)で表すことができる(図11参照)。

【0048】つまり、電流値制御部210では、可動子120が形成する磁束密度分布 $B_2(X)$ の基本正弦波成分の振幅 $\beta[1]$ と5次正弦波成分の振幅 $\beta[5]$ との比(β

[5]/ β [1])、および、これから生成する交流電流の基本正弦波成分の振幅 α [1]の積を求め(式(17)参照)、この積の結果を振幅の大きさとする5次正弦波成分を基本正弦波成分に対し逆位相で重畳することにより、波形の制御を行う。

【0049】これにより、制御部200の電流出力端子23～25から、基本正弦波成分(周期 λ , 振幅 α [1])に5次正弦波成分(周期 $\lambda/5$, 振幅 α [5])が逆位相で重畳された交流電流 $I_{2u}(x)$, $I_{2v}(x)$, $I_{2w}(x)$ が出力される。

【0050】電流出力端子23～25からの交流電流 $I_{2u}(x)$, $I_{2v}(x)$, $I_{2w}(x)$ は、可動子120の永久磁石121, 121…に対向してスイッチ(S01～S30)がオンとなっているコイル20, 20…に対し、実際に供給される。そして、コイル20, 20…に供給された電流と永久磁石121, 121…による磁場とが個々に作用し合い、結果として、各コイル20に発生する推力 F_u , F_v , F_w (図8)の合計に相当する上記式(18)の一定の推力 $F_4(x)$ が固定子110に働くことになる。したがって、本実施の形態のリニアモータ100では、一定の推力 $F_4(x)$ を与えながら可動子120をX方向に沿って移動させることができる。

【0051】なお、本実施の形態のリニアモータ100における推力 $F_4(x)$ の値(式(18))は、図19に示す従来の磁石ユニット11を備えたリニアモータにおける推力 $F_1(x)$ の値(式(6))に比べて、 $1.5L\alpha[1]\beta[5]^2/\beta[1]$ だけ小さくなっている。しかし、 $\beta[5]$ のレベルは、通常、 $\beta[1]$ の数%程度かそれ以下であり、また、これが2乗で効いてくるので、推力 $F_4(x)$ の低下分は1%にも満たない極小さな値である。

【0052】以上説明したように、本実施の形態では、永久磁石121, 121…の磁束密度分布 $B_2(X)$ に応じた高調波成分(例えば上記の5次正弦波成分)を基本正弦波成分に重畳した交流電流 $I_{2u}(x)$, $I_{2v}(x)$, $I_{2w}(x)$ がコイル20, 20…に供給されるので、推力リップルの無い一定の推力 $F_4(x)$ で可動子120を直線移動させることができ、精密な位置決め制御も容易に行うことができる。

【0053】さらに、永久磁石121, 121…が同極どうし対向する向きで配列されているので、リニアモータ100の高出力化および小型化も図られる。なお、上記した実施の形態では、コイル20, 20…に供給する交流電流 $I_{2u}(x)$, $I_{2v}(x)$, $I_{2w}(x)$ の5次正弦波成分の振幅 α [5]が次式(17)を満足するように波形を制御し、推力リップルを完全に打ち消す例を説明したが、これに限らない。位置決め制御の精度に応じて、5次正弦波成分の振幅 α [5]の大きさを調整し、推力リップルを低減させてもよい。

【0054】この場合には、式(17)を用いて5次正弦波成分の振幅 α [5]を求めたのと同様に所定の計算式

を用いて振幅 α [5]を求めても良いし、使用者がモニターなどを確認しながら5次正弦波成分の振幅 α [5]の大きさを調整しても良い。本実施の形態では、永久磁石121, 121…による磁束密度 $B_2(X)$ の磁束密度分布において、基本正弦波成分に同位相で重畳された5次正弦波成分が、推力リップルの原因となっていた。そこで、交流電流においては、基本正弦波成分に5次正弦波成分を逆位相で重畳することで、推力リップルを打ち消すようにした。しかし、複数の永久磁石による磁束密度分布に他のY次正弦波成分(Yは1より大きく3の倍数を除く奇数)が含まれ、この成分が推力リップルの原因となる場合には、同様に、交流電流に対してY次正弦波成分を重畳するようにしてもよい。この場合、推力リップルの原因となる磁束密度分布のY次正弦波成分が、基本正弦波成分に対して同位相で重畳されているときは、交流電流に対してはY次正弦波成分を逆位相で重畳すればよい。これに対し、推力リップルの原因となる磁束密度分布のY次正弦波成分が、基本正弦波成分に対して逆位相で重畳されているときは、交流電流に対してはY次正弦波成分を同位相で重畳すればよい。このように、磁束密度の位相関係とは逆の位相関係となるように交流電流を重畳することで、磁束密度分布のY次正弦波成分を原因とする推力リップルを低減させることが可能となる。

【0055】さらに、上記した実施の形態では、永久磁石121, 121…による磁束密度分布 $B_2(X)$ の3次正弦波成分が推力リップルの原因とならないため、交流電流に3次正弦波成分を重畳しなかったが、複数の永久磁石による磁束密度分布に他のZ次正弦波成分(Zは1より大きい3の倍数)が含まれる場合でも、同様に、推力リップルの原因とならないため、交流電流に対してZ次正弦波成分を重畳する必要はない。

【0056】また、上記した実施の形態では、図3に示すように同極どうしが対向する向きで配列された複数の永久磁石121, 121…を例に説明したが、図12に示すように、隣り合う2つの永久磁石121, 121…の間に、補極としての永久磁石123, 123…を設けてもよい。永久磁石123, 123…は、永久磁石121, 121…と直交する向きで配列されている。

【0057】この場合の磁束密度分布は、上述した例と同様、基本正弦波成分とZ次正弦波成分(Zは1より大きい3の倍数)とY次正弦波成分(Yは1より大きく3の倍数を除く奇数)とが重畳された形となるため、交流電流に対してY次正弦波成分を逆位相で重畳することによって、推力リップルの低減または完全な相殺を達成することができる。

【0058】さらに、上記した実施の形態では、固定子110側にコイル20, 20…が配置され、可動子120側に永久磁石121, 121…が配置されたムービングマグネット型のリニアモータ100を例に説明した

が、図13に示すように、固定子側に永久磁石124、124…が配置され、可動子側にコイル125、125…が配置されたムービングコイル型のリニアモータにも本発明は適用できる。

【0059】また、上記した実施の形態では、コイルに対して三相交流電流を供給する例を説明したが、二相交流電流や四相交流電流などの多相交流電流をコイルに供給する場合にも本発明は適用できる。さらに、上記した実施の形態では、リニアモータの推力リップルの低減または完全な相殺によって推力を一定にする例を説明したが、本発明によれば、回転モータのトルクリップルの低減や完全な相殺も同様に行える。

$$I_{3u}(x) = \alpha[1]\sin(\omega x) + \alpha[3]\sin 3(\omega x) \quad \dots (19)$$

$$I_{3w}(x) = \alpha[1]\sin(\omega x + \phi) + \alpha[3]\sin 3(\omega x + \phi) \quad \dots (20)$$

$$I_{3v}(x) = \alpha[1]\sin(\omega x + \psi) + \alpha[3]\sin 3(\omega x + \psi) \quad \dots (21)$$

このように基本正弦波成分と3次正弦波成分とが重畳された交流電流 $I_{3u}(x)$ 、 $I_{3v}(x)$ 、 $I_{3w}(x)$ を各コイル20に対して供給することを想定し、その場合の推力 $F_5(x)$

$$\begin{aligned} F_5(x) &= L(B_{2u}(x)I_{3u}(x) + B_{2v}(x)I_{3v}(x) + B_{2w}(x)I_{3w}(x)) \\ &= 1.5L\{\alpha[1]\beta[1] + \beta[3]\alpha[3] \\ &\quad - \alpha[1]\beta[5]\cos 6(\omega x) - \alpha[3]\beta[3]\cos 6(\omega x)\} \dots (22) \end{aligned}$$

上記の式(22)から分かるように、推力 $F_5(x)$ には、式(11)の推力リップル(式(22)では第3項)に加えて、同様に6次正弦波成分(周期 $\lambda/6$)の推力リップル(第4項)が新たに含まれている。この新たな推力リップルは、磁束密度分布 $B_2(X)$ の3次正弦波成分と、交流電流 $I_3(X)$ の3次正弦波成分と、の合成により発生するものである。

【0063】したがって、新たな推力リップルの振幅 $(1.5L\alpha[3]\beta[3])$ を式(11)の推力リップルの振幅 $(1.5L\alpha[1]\beta[5])$ と同じ大きさにすると共に、新たな推力リップルの位相を式(11)の推力リップルと逆位相にすることにより、新たな推力リップルと式(11)の推力リップルとを相殺させることができる。このときの条件は、次式(23)で表される。

$$F_6(x) = 1.5L\alpha[1]\beta[1](1 - \beta[5]/\beta[1]) \dots (25)$$

この変形例においては、磁束密度 $B_2(X)$ の磁束密度分布における3次正弦波成分が、磁束密度分布の基本正弦波成分に対して逆位相で重畳されているので、交流電流においては3次正弦波成分を基本正弦波成分に同位相で重畳して推力リップルを低減するようにした。

【0066】このように、変形例によれば、永久磁石121、121…の磁束密度分布 $B_2(X)$ に応じた高調波成分(例えば上記の3次正弦波成分)を基本正弦波成分に重畳した交流電流 $I_{3u}(x)$ 、 $I_{3v}(x)$ 、 $I_{3w}(x)$ がコイル20、20…に供給されるので、推力リップルの無い一定の推力 $F_6(x)$ で可動子120を直線移動させることができ、精密な位置決め制御も容易に行うことができる。

【0067】ただし、この変形例における推力 $F_6(x)$

【0060】また、磁場の発生手段として永久磁石121、121(、123)を用いたが、電磁石などの構成を用いても良い。次に、上記実施の形態の変形例を説明する。この変形例では、上記式(11)の6次正弦波成分(周期 $\lambda/6$)の推力リップルを打ち消すため、各コイル20に供給する交流電流 I_v 、 I_u 、 I_w の基本正弦波成分(周期 λ 、振幅 $\alpha[1]$)に対し、上記実施の形態の5次正弦波成分(周期 $\lambda/5$ 、振幅 $\alpha[5]$)に代えて、3次正弦波成分(周期 $\lambda/3$ 、振幅 $\alpha[5]$)を重畳する。

【0061】この場合の交流電流 $I_{3u}(x)$ 、 $I_{3w}(x)$ 、 $I_{3v}(x)$ は、次式(19)～(21)で表される(ただし、 $\omega = 2\pi/\lambda$ 、 $\phi = 2\pi/3$ 、 $\psi = 4\pi/3$)。

5(x)を求めると、次式(22)のようになる。

【0062】

$$\alpha[3]\beta[3] = -\alpha[1]\beta[5] \quad \dots (23)$$

これはすなわち、上記式(19)～(21)で表される交流電流 $I_{3u}(x)$ 、 $I_{3w}(x)$ 、 $I_{3v}(x)$ の基本正弦波成分に重畳された3次正弦波成分の振幅 $\alpha[3]$ に関する条件に他ならない。以上のことから、交流電流 $I_{3u}(x)$ 、 $I_{3v}(x)$ 、 $I_{3w}(x)$ の3次正弦波成分の振幅 $\alpha[3]$ が次式(24)を満足するとき、式(22)の推力リップルが完全に相殺され、推力 $F_5(x)$ が一定の値になることが分かる。

【0065】

$$\alpha[3] = -(\beta[5]/\beta[3])\alpha[1] \quad \dots (24)$$

また、このときの推力 $F_5(x)$ の値は、上記した推力 $F_5(x)$ の式(22)に条件式(24)を代入することにより、次式(25)で表すことができる。

の値(式(25))は、図19に示す従来の磁石ユニット11を備えたリニアモータでの推力 $F_1(x)$ の値(式(6))に比べて $1.5L\alpha[1]\beta[5]$ だけ小さい。この場合の推力低下は $\beta[5]$ の単純比例であるため、推力低下が $\beta[5]$ の2乗比例である上記実施の形態の推力 $F_4(x)$ (式(18)参照)に比べて、変形例の推力 $F_6(x)$ は小さな値となる。

【0068】なお、この変形例でも、コイル20、20…に供給する交流電流 $I_{3u}(x)$ 、 $I_{3v}(x)$ 、 $I_{3w}(x)$ の3次正弦波成分の振幅 $\alpha[3]$ が次式(24)を満足する場合にに限らない。位置決め制御の精度に応じて、3次正弦波成分の振幅 $\alpha[3]$ の大きさを調整し、推力リップルを低減させてもよい。

(第2の実施の形態)次に、本発明の第2の実施の形態

について、図14を用いて説明する。

【0069】この第2の実施の形態は、半導体の製造に用いられるステージ装置700に、上記した第1の実施の形態によって得られるリニアモータ100を用いたものである。以下では、第1の実施の形態のリニアモータ100（図1）をステージ装置700に組み込んだ場合を例にあげて説明する。第1の実施の形態のリニアモータ100は、その芯部材111に巻き付けられた多数のコイル20、20、…が互いの間隔をあけることなく、軸方向に高密度に配置されるので、固定子（電機子）110内でのコイル20、20…の占積率が高く、全体として推進力が高い。

【0070】この実施の形態では、リニアモータ100は、ステージ装置700のXステージ（可動ステージ）700Xの駆動に用いられている。ここで、固定子110のパイプ113とコイル20、20…との間の冷却液用流路114、芯部材111内部の冷却液用流路115に温度調節用の流体を流すことで固定子110から生じる熱が吸収される。

【0071】尚、Yステージ700Yの駆動に用いられる2つのリニアモータ720の構成は、リニアモータ100と同一であり、その詳細な説明は省略する。これらリニアモータ100、720が駆動手段として用いられるステージ装置700は、その用途は限定されないが、この実施の形態では、ウェハ（基板）9上にマスク（図示省略）に形成されたパターンを転写する露光装置における、ウェハ9の移動手段として用いられる。

【0072】すなわち、ステージ装置700は、X軸及びY軸の2軸のX-Yステージ装置であり、ベース部702上をX方向（図中矢印Xで示す方向）に駆動されるXステージ700X、Y方向（矢印Yで示す方向）に駆動されるYステージ700Y、及び試料台（可動体）704を、主たる構成要素としている。ここで試料台704は、前記Yステージ700Y上に配置され、この試料台704にウェハホルダ（図示省略）を介してウェハ（基板）9が搭載される。

【0073】このウェハ9の上方には、照射部（図15参照）が配置されており、照射部からマスク（共に図示省略）を介して照射された露光光によって、前記ウェハ9上に予め塗布されたレジスト（図示省略）に、マスク上の回路パターンが転写されるようになっている。ステージ装置700は、前記露光光の経路に対してウェハ9を相対移動させることで、このウェハ9の所望の位置に露光光を照射するように制御される。

【0074】ステージ装置700におけるXステージ700X及びYステージ700Yの移動量は、各々、試料台704のX方向の端部、Y方向の端部に固定された移動鏡705X、705Yと、これに対向するように、ベース部702に各々固定されたレーザ干渉計706X、706Yとによって計測される。そして、主制御装置

（図示省略）が、この計測結果を基に、試料台704をベース部702上の所望の位置に移動制御するようになっている。

【0075】又、レーザ干渉計606X、606Yからの出力は、図6(a)に示す各スイッチS01～S30のオン/オフの切換え制御に用いられる。このステージ装置700のXステージ700X、Yステージ700Yは、共に、多数のコイル20、20…が軸方向に配置された固定子110を用いたリニアモータ100、100、720、720によって、各々、ベース部702上をX方向、Y方向に駆動される。

【0076】ここで、2つのリニアモータ100、100の固定子110、110は、共にベース702上に取付部101、101（図1）にて固定され、可動子120、120は、各々、固定板707、707を介してXステージ700Xに固定されている。

【0077】又、リニアモータ720、720の、各々の固定子721、721は共にXステージ700Xに固定され、可動子722、722（一方のみ図示）はYステージ700Yに固定されている。各固定子110、110、721、721は、その内部の流路に流される温度調整用の流体によって冷却されるが、この流体は、温度調節機731にて温度調節される。尚、固定子110、110、721、721と温度調節機731とは、吐出配管732、配管733等によって接続されている。

【0078】又、ステージ装置700には、エアガイド740と静圧気体軸受け（図示省略）とが設けられて、エア吹き出し口741、エア吸引口742によって静圧空気軸受式のステージが構成されている。本実施の形態では、ステージ装置700の駆動手段として用いるリニアモータ100の推力リップルを低減または抑制することができる。そのため、試料台704に搭載されたウェハ9を正確に位置決め制御することが可能となる。

【0079】（第3の実施の形態）次に、本発明の第3の実施の形態について、図15～図16を用いて説明する。この第3の実施の形態は、上記した第1の実施の形態によって得られたリニアモータ100を露光装置800のレチクル（マスク）ステージ850（図16）の駆動手段として用いたものである。ここでも、第1の実施の形態のリニアモータ100（図1）をレチクルステージ850に組み込んだ場合を例にあげて説明する。

【0080】ここで露光装置800は、いわゆるステップ・アンド・スキャン露光方式の走査型露光装置である。この露光装置800は、照明系810と、レチクル（フォトマスク）Rを保持するステージ可動部851と、投影光学系PLと、ウェハ（基板）WをX-Y平面内でX方向-Y方向の2次元方向に駆動するステージ装置900と、これらを制御する主制御装置820等を備えている。

【0081】前記照明系810は、光源ユニットから照射された露光光を、レチクルR上の矩形（あるいは円弧状）の照明領域IARに均一な照度で照射するものである。又、レチクルステージ850では、ステージ可動部851がレチクルベース上を所定の走査速度で、ガイドレール853に沿って、移動されるようになっており、図16に示すように、ステージ可動部851の上面にはレチクルRが、例えば真空吸着により固定される。又、ステージ可動部851のレチクルRの下方には、露光光通過穴852が形成されている。

【0082】このステージ可動部851の移動位置は、反射鏡815、レチクルレーザ干渉計816によって検出され、ステージ制御系819は、この検出されたステージ可動部851の移動位置に基づく主制御装置820からの指示に応じて、ステージ可動部851を駆動する。又、投影光学系PLは縮小光学系であり、図15に示すように、レチクルステージ850の下方に配置され、その光軸AX（照明光学系の光軸IXに一致）の方向がZ軸方向とされる。ここではテレセントリックな光学配置となるように光軸AX方向に沿って所定間隔で配置された複数枚のレンズエレメントから成る屈折光学系が使用されている。従って、上記照明系810によりレチクルRの照明領域IARが照明されると、レチクルRの照明領域IAR内の回路パターンの縮小像（部分倒立像）が、ウェハW上の照明領域IARに共役な露光領域IAに形成される。

【0083】尚、ステージ装置900は、コイルを電機子として用いた平面モータ970を駆動手段として、テーブル918をX-Y面内で2次元方向に駆動するものである。すなわち、ステージ装置900は、ベース部921と、このベース部921の上面の上方に数 μ m程度のクリアランスを介して浮上されるテーブル918と、このテーブル918を移動させる平面モータ970とを具えている。ここでテーブル918には、露光処理時、その上面にウェハ（基板）Wが、例えば真空吸着によって固定される。

【0084】又、テーブル918には移動鏡927が固定され、ウェハ干渉計931からレーザビームが照射されて、当該テーブル918のX-Y面内での移動位置が検出されるようになっている。このとき得られた移動位置の情報は、ステージ制御系819を介して主制御装置820に送られる。そして、ステージ制御系819は、この情報に基づく主制御装置820からの指示に従って、平面モータ970を作動させ、テーブル918をX-Y面内の所望の位置に移動させる。

【0085】テーブル918は、平面モータ970を構成する可動子（図示省略）の上面に、支持機構（図示省略）によって異なる3点で支持されており、平面モータ970によって、X方向、Y方向に駆動するのみならずX-Y面に対して傾斜させたり、Z軸方向（上方）に駆

動させることができるようになっている。尚、平面モータ970は、公知の構成であり、平面モータ970のその他の説明は省略する。また、ステージ装置900の駆動手段として、平面モータ970の代わりに、第2の実施の形態で説明したリニアモータ100を用いても良い。

【0086】尚、図中、符号921はベース部であり、その内部から生じる熱による温度上昇を防ぐための流体が、供給管892、排出管893、温度調節装置879の作用によって、循環されるようになっている。斯かる構成のレチクルステージ850を含む露光装置800においては、概ね、以下の手順で露光処理が行われる。

【0087】まず、レチクルR、ウェハWがロードされ、次いで、レチクルアラインメント、ベースライン計測、アラインメント計測等が実行される。アラインメント計測の終了後には、ステップ・アンド・スキャン方式の露光動作が行われる。

【0088】露光動作にあたっては、レチクル干渉計816によるレチクルRの位置情報、ウェハ干渉計931によるウェハWの位置情報に基づき、主制御装置820がステージ制御系819に指令を出し、レチクルステージ850のリニアモータ100、100及び平面モータ970によって、レチクルRとウェハ9とが同期して移動し、もって、所望の走査露光が行われる。

【0089】又、レチクル干渉計716からの出力は、図6(a)に示す各スイッチS01～S30のオン/オフの切換え制御に用いられる。このようにして、1つのショット領域に対するレチクルパターンの転写が終了すると、テーブル918が1ショット領域分だけステッピングされて、次のショット領域に対する走査露光が行われる。このステッピングと走査露光とが順次繰り返され、ウェハ9上に必要なショット数のパターンが転写される。

【0090】ここで、上記のレチクルステージ850においては、リニアモータ100、100の固定子110、110を構成する各コイル20、20…に、三相の電流が適宜供給され、その移動量が制御される。この露光装置800のレチクルステージ850は、推進力が大きく、余分に電力を消費することもない。本実施の形態では、レチクルステージ850の駆動手段であるリニアモータ100の推力リップルを低減または抑制することができる。そのため、レチクルステージ850を露光光に対して相対移動させて、レチクルRを位置制御する際は、その位置決め精度が向上する。また、ステージ装置900の駆動手段として用いることで、ウェハの位置決め精度を向上させることもできる。したがって、本実施の形態の露光装置を用いることで、高精度なデバイスを製造することができる。

【0091】尚、本発明の第2の実施の形態のステージ装置700、又は第3の実施の形態の露光装置800を

用いた半導体デバイスの製造は、概ね、図17、図18に示す手順で行われる。

【0092】すなわち、半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウェハを製作するステップ、前述した実施の形態の露光装置によりレチクルのパターンをウェハに転写するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。

【0093】以下、デバイス製造方法について、更に詳細に説明する。図17には、デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートが示されている。図17に示されるように、まず、ステップ1001（設計ステップ）において、デバイスの機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ1002（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスク（レチクル）を製作する。一方、ステップ1003（ウェハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウェハを製造する。

【0094】次に、ステップ1004（ウェハ処理ステップ）において、ステップ1001～ステップ1003で用意したマスク（レチクル）とウェハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によってウェハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ1005（デバイス組立ステップ）において、ステップ1004で処理されたウェハを用いてデバイス組立を行う。このステップ1005には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に応じて含まれる。

【0095】最後に、ステップ1006（検査ステップ）において、ステップ1005で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

【0096】図18には、半導体デバイスの場合における、上記ステップ1004の詳細なフロー例が示されている。図18において、ステップ1011（酸化ステップ）においてはウェハの表面を酸化させる。ステップ1012（CVDステップ）においてはウェハ表面に酸化絶縁膜を形成する。ステップ1013（電極形成ステップ）においてはウェハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ1014（イオン打込みステップ）においてはウェハにイオンを打ち込む。

【0097】以上のステップ1011～ステップ1014それぞれは、ウェハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択され

て実行される。ウェハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ1015（レジスト形成ステップ）において、ウェハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ1016（露光ステップ）において、上で説明した露光装置を用いてマスクの回路パターンをウェハに転写する。次に、ステップ1017（現像ステップ）においては露光されたウェハを現像し、ステップ1018（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ1019（レジスト除去ステップ）においてエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

【0098】これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウェハ上に多重に回路パターンが形成される。尚、本発明のリニアモータは、実施の形態で示した露光装置以外の、マスクと基板とを同期移動してマスクのパターンを露光する走査型の露光装置（例えば、米国特許第5,473,410号）の駆動手段としても適用することができる。

【0099】又、本発明のリニアモータが適用された装置は、マスクと基板とを静止した状態でマスクのパターンを露光し、基板を順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート型の露光装置にも適用することができる。

【0100】又、本発明のリニアモータが適用された装置は、投影光学系を用いることなくマスクと基板とを密接させてマスクのパターンを露光するプロキシミディ露光装置にも適用することができる。又、本発明のリニアモータが適用された露光装置は、半導体製造用の露光装置に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに液晶表示素子パターンを露光する液晶用の露光装置や、薄膜磁気ヘッドを製造するための露光装置にも、本発明は広く適用できる。

【0101】又、第3の実施の形態の露光装置の光源は、g線（436nm）、i線（365nm）、KrFエキシマレーザ（248nm）、ArFエキシマレーザ（193nm）、F2レーザ（157nm）のみならず、X線や電子線などの荷電粒子線を用いることができる。例えば、電子線を用いる場合には電子銃として、熱電子放射型のランタンヘキサホライド（LaB6）、タantal（Ta）を用いることができる。さらに、電子線を用いる場合は、マスクを用いる構成としてもよいし、マスクを用いずに直接基板上にパターンを形成する構成としてもよい。

【0102】この場合には、投影光学系として、エキシマレーザなどの遠紫外線を用いる場合は硝材として石英や蛍石などの遠紫外線を透過する材料を用い、F2レーザやX線を用いる場合は反射屈折系または屈折系の光学系にし（レチクルも反射型タイプのものを用いる）、ま

た、電子線を用いる場合には光学系として電子レンズおよび偏向器からなる電子光学系を用いればよい。なお、電子線が通過する光路は真空状態にすることはいうまでもない。

【0103】又、本発明のリニアモータが駆動手段として適用される露光装置の投影光学系の倍率は、縮小系のみならず等倍および拡大系であってもよい。又、ウェハステージやレチクルステージに、本発明のリニアモータを用いる場合は、エアベアリングを用いたエア浮上型およびローレンツ力またはリアクタンス力を用いた磁気浮上型のどちらを用いてもよい。

【0104】又、本発明のリニアモータが適用されるステージとしては、ガイドに沿って移動するタイプに限らず、ガイドを必要としないガイドレスタイプであってもよい。尚、ウェハステージの移動により発生する反力に関しては、特開平8-166475号公報にて提案されている発明を利用して、フレーム部材を用いて、機械的に床側（大地）に逃がすようにしてもよい。

【0105】又、レチクルステージの移動により発生する反力に関しては、特開平8-330224号公報にて提案されている発明を利用して、フレーム部材を用いて、機械的に床側（大地）に逃がすようにしてもよい。以上に説明した本発明のリニアモータが適用される露光装置は、特許請求の範囲に挙げた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学精度を保つように、組み立てることで製造される。

【0106】これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学精度を達成するための調整、各種機械系については機械精度を達成するための調整、各種電気系については電気精度を達成するための調整が行われる。又、各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。

【0107】この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。又、各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0108】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、磁石ユニットの磁束密度分布に応じた高調波成分（例えば上記のY次正弦波成分）を基本正弦波成分に重畳した交流電流がコイルユニットの各コイルに供給されるので、駆動力リップルが低減または完全に相殺された略一定の駆動力によって、磁石ユニットとコイルユニットとを相対移動させることができ、精密な位置決め制御が容易に行えるモータ装置を提供できる。さらに、磁石ユニ

ットの磁束密度分布に高調波成分（上記のY次正弦波成分）が含まれる場合、モータの高出力化および小型化も併せて実現する。

【0109】また、上記のモータ装置をステージ部の駆動手段として用いたステージ装置では、ステージ部に対する精密な位置決め制御が可能となり、ステージ装置全体として高機能化が図られる。さらに、露光用光学系を用いて基板上に所定のパターンを形成する露光装置において、レチクルを移動させるレチクルステージ装置に上記のステージ装置を用いた場合、ステージ部に対する精密な位置決め制御が可能となるため、露光装置全体として高機能化が図られる。

【0110】また、上記の露光装置を用いることにより、高精度なデバイスを効率よく製造することができ

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態のリニアモータ100の側面図である。

【図2】リニアモータ100の固定子110、及び、可動子120の断面図である。

【図3】リニアモータ100の固定子110、及び、可動子120の断面図である。

【図4】可動子120の永久磁石121と磁束密度分布との関係を示す図である。

【図5】可動子120の磁束密度分布の詳細を説明するグラフである。

【図6】固定子110の各コイル20と制御部200の電流出力端子23～25との接続を示す図である。

【図7】固定子110の各コイル20と制御部200の電流出力端子23～25との接続を示す図である。

【図8】リニアモータ100の動作原理を示す説明図である。

【図9】磁束密度分布、交流電流、および推力の波形を示すグラフである。

【図10】交流電流の波形を示すグラフである。

【図11】磁束密度分布、交流電流、および推力の波形を示すグラフである。

【図12】可動子の別の構成を示す断面図である。

【図13】ムービングコイル型のリニアモータの構成を示す概略図である。

【図14】リニアモータ100が適用されたステージ装置700を示す斜視図である。

【図15】レチクルステージ750にリニアモータ100が用いられた露光装置800の全体構成を示す図である。

【図16】レチクルステージ850を示す斜視図である。

【図17】本発明にかかる露光装置を用いた半導体デバイスの製造プロセスを示す図である。

【図18】本発明にかかる露光装置を用いた半導体デバ

イスのより具体的な製造プロセスを示す図である。

【図19】従来の磁石ユニット11の構成および磁束密度分布を説明する図である。

【図20】三相交流電流の波形を示す図である。

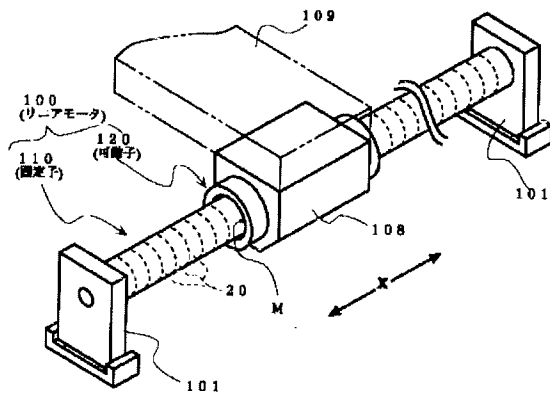
【図21】磁石ユニット12の構成および磁束密度分布を説明する図である。

【符号の説明】

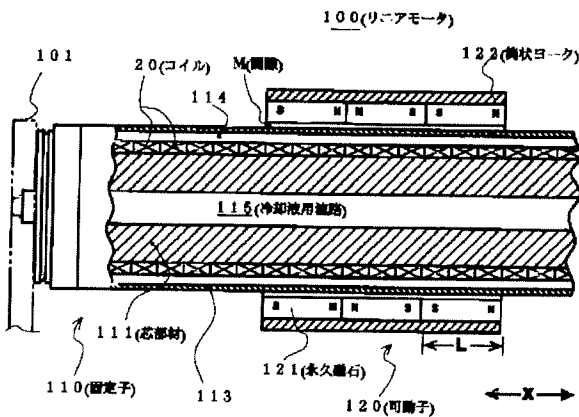
100 リニアモータ
110 固定子
20 コイル
21 引出線
108 ハウジング

111 芯部材
120 可動子
121 永久磁石
200 制御部
210 電流値制御部
700 ステージ装置
800 露光装置
850 レチクルステージ

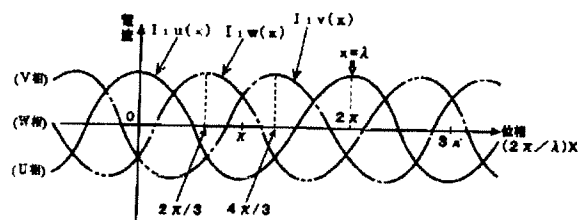
【図1】



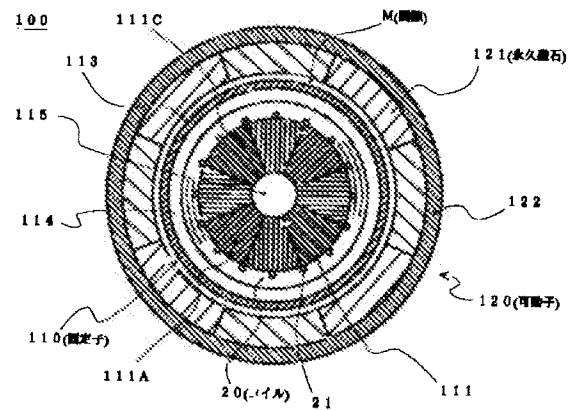
【図3】



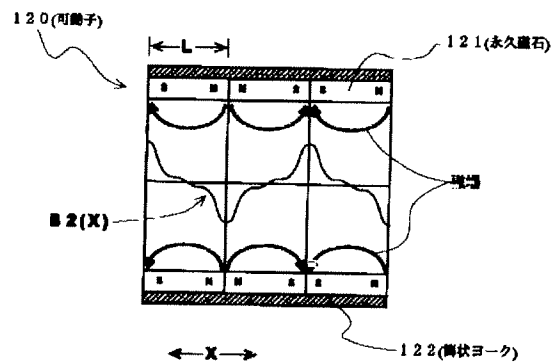
【図20】



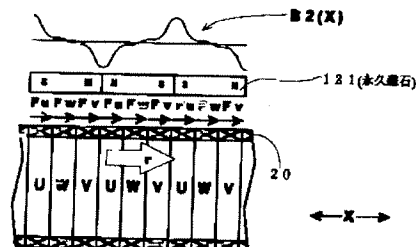
【図2】



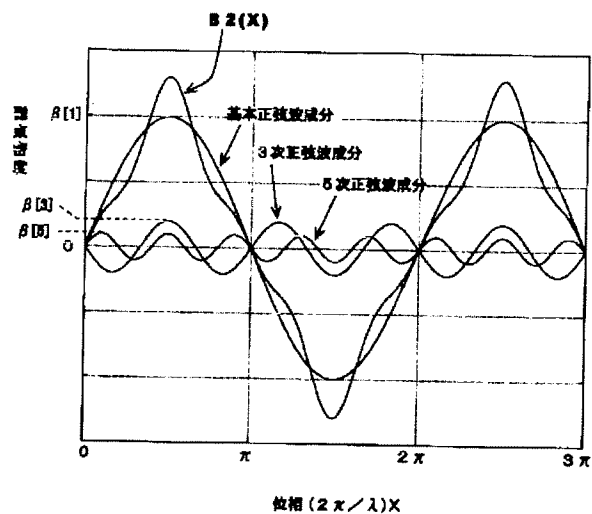
【図4】



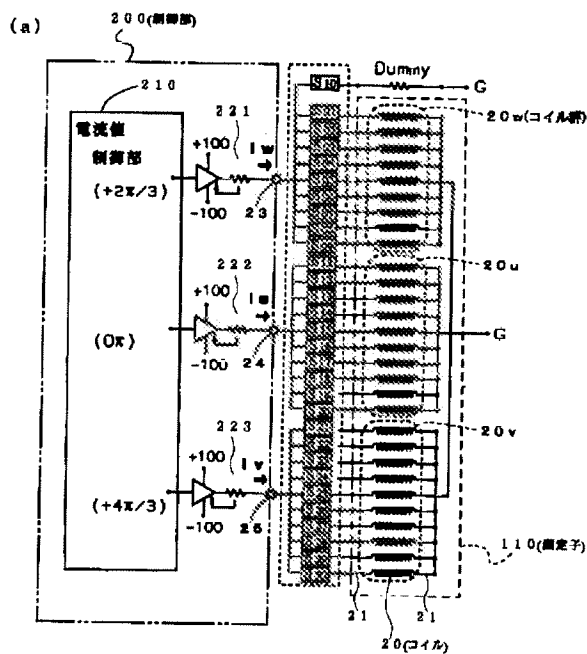
【図8】



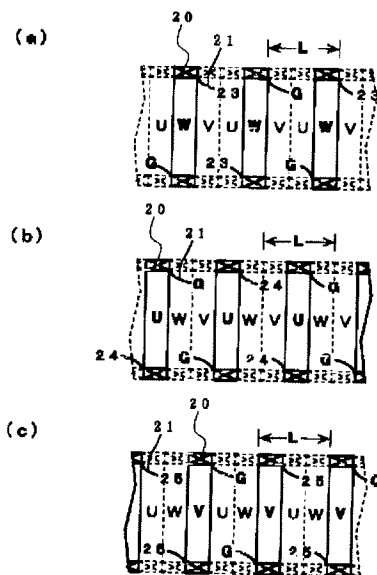
【図5】



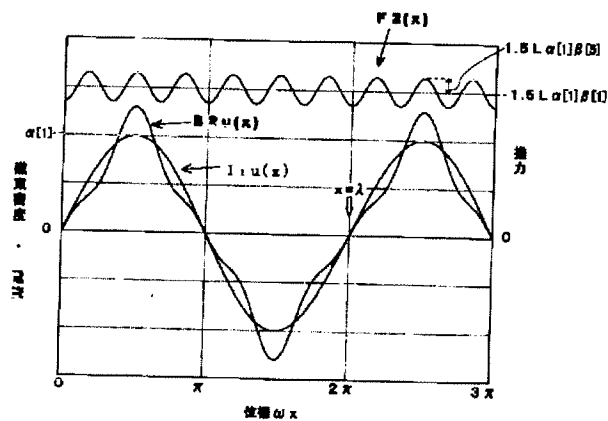
【図6】



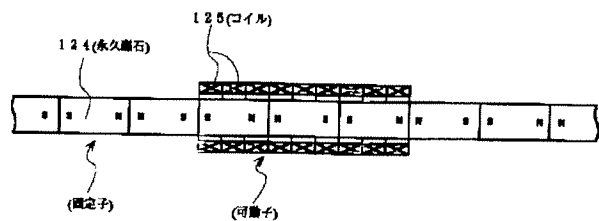
【图7】



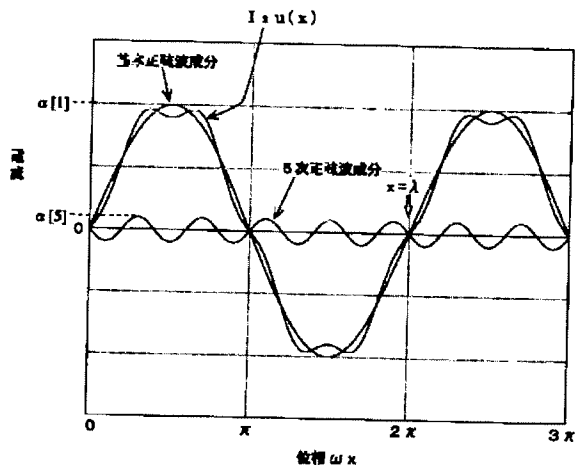
【图9】



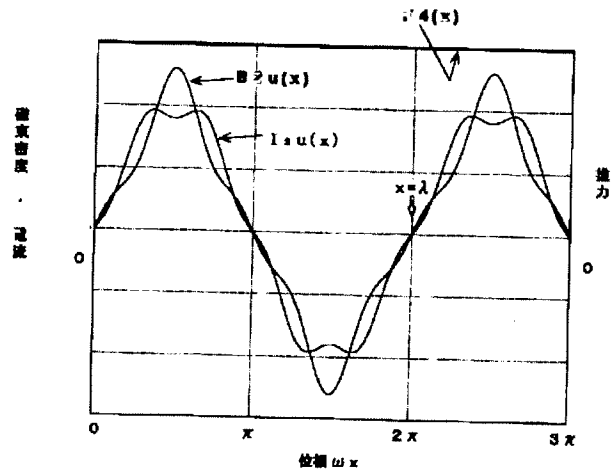
【图 13】



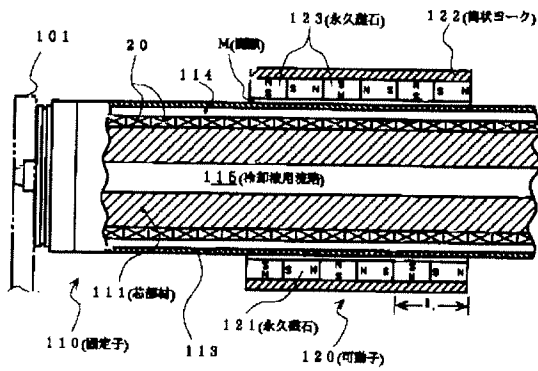
【図10】



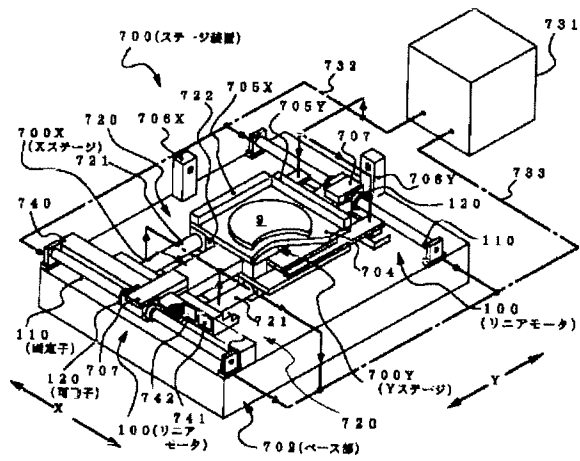
【図11】



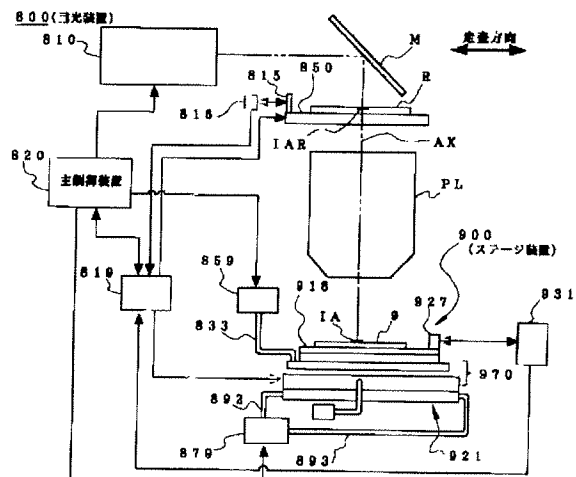
【図12】



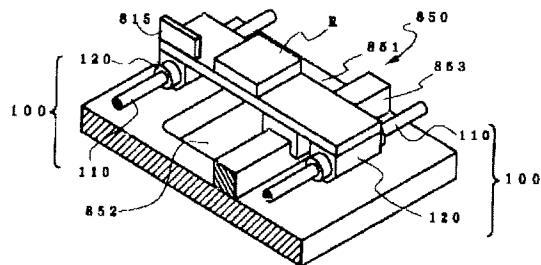
【図14】



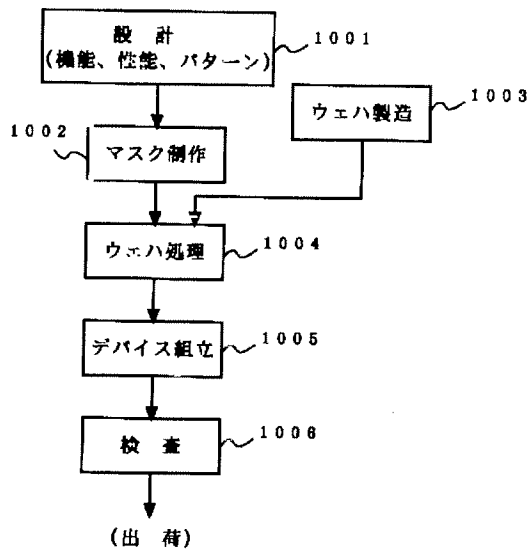
【図15】



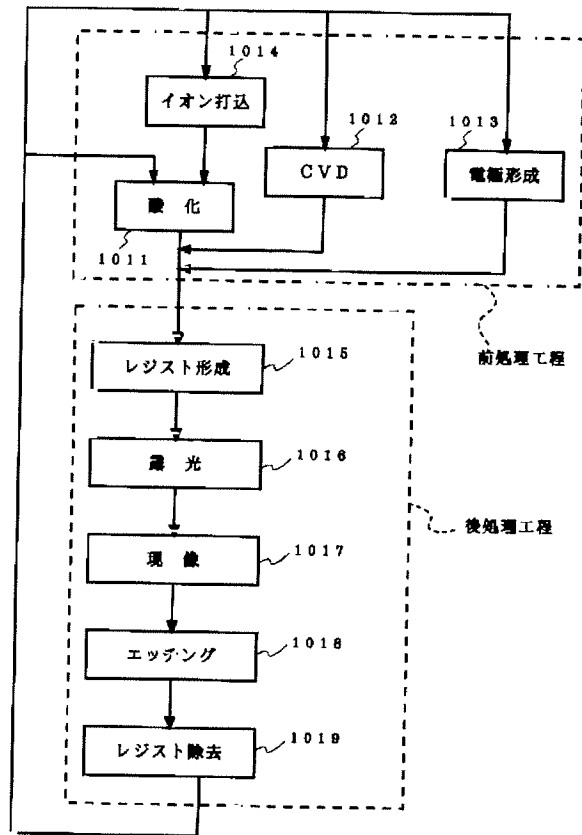
【図16】



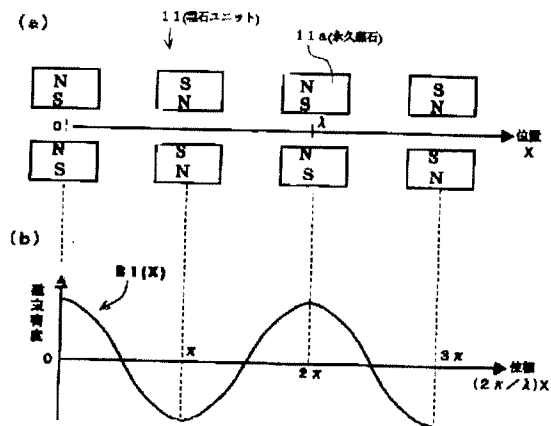
【図17】



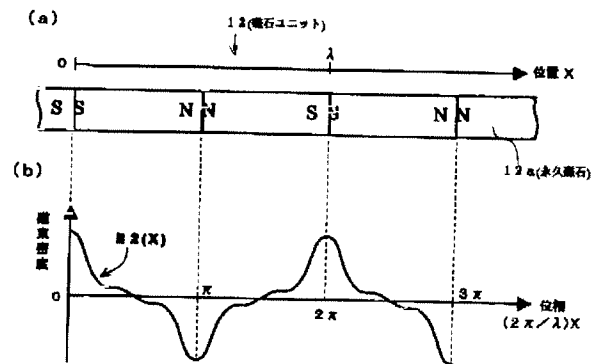
【図18】



【図19】



【図21】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F031 CA02 HA13 KA06 LA08 MA27
5F046 CC01 CC02 CC03 CC17
5H540 AA01 AA10 BA03 BB06 BB08
BB09 EE08 FC02
5H641 BB06 BB14 BB18 BB19 GG02
GG03 GG04 GG08 GG12 HH02
HH03 HH14 JA06 JB05